## 5.2 核心算法

水印的嵌入需要待嵌入水印、载体图像、秘钥；嵌入和提取的系统框图如下：

**5.2.1 水印不可见性**

## 数字水印技术按表现形式为可见水印和不可见水印，不可见水印是无法用肉眼看见，可见水印前者如图像上的logo是肉眼可以看见的水印，即可见水印。

[数字水印](https://www.baidu.com/s?wd=%E6%95%B0%E5%AD%97%E6%B0%B4%E5%8D%B0&tn=SE_PcZhidaonwhc_ngpagmjz&rsv_dl=gh_pc_zhidao" \t "https://zhidao.baidu.com/question/_blank)的不可见性就是[数字水印](https://www.baidu.com/s?wd=%E6%95%B0%E5%AD%97%E6%B0%B4%E5%8D%B0&tn=SE_PcZhidaonwhc_ngpagmjz&rsv_dl=gh_pc_zhidao" \t "https://zhidao.baidu.com/question/_blank)嵌入到载体图像中后通过人的感知系统是察觉不到的，对于图像数字水印来说就是嵌入水印的图像和原始图像看起来是一样的，即看不到数字水印的存在；嵌入水印后不会引起原来数字作品明显的图像质量下降，而且应不影响载体图像的正常使用；不可见水印之所以肉眼不可见是因为人眼的视觉冗余，我们看到的数字图像是由许多的像素点组成的，例如一张100\*100的彩色图像，共有100\*100\*3个像素点，每个点的取值从0到255,0代表黑色，255代表白色，我们可以分辨出0和255的差别，却分辨不了50和51(52、53甚至更大)，我们可以轻微的他修改每个像素的值来实现水印的嵌入，而且嵌入水印的图像和原始的图像肉眼看起来并没有差别，不影响图像的使用。水印的提取就是更根据算法设计的规则，从图像像素中提取信息。

**5.2.2水印鲁棒性：**

数字水印实现版权保护的原理在于，将能证明产品来源的信息用相应的算法嵌入到图像中，当发生版权纠纷时，可以通过算法从图像中提取信息，以此来证明图像的来源；达到本版权保护的目的。在图像传输和存储过程中，不可避免的会对图像进行处理，而且存在对图像进行恶意篡改的可能,如果在经过处理后不能从图像中提取有效地水印信息，那就无法证明图像的来源。因此，要求，经过无意或恶意的图像处理过程后，数字水印仍能保持部分完整性并能被准确鉴别，这就是鲁棒性。鲁棒性是指经过信号处理后，包括[信道噪声](https://baike.baidu.com/item/%E4%BF%A1%E9%81%93%E5%99%AA%E5%A3%B0" \t "https://baike.baidu.com/item/%E6%95%B0%E5%AD%97%E6%B0%B4%E5%8D%B0/_blank)、滤波、重采样、剪切、位移、尺度变化以及[有损压缩](https://baike.baidu.com/item/%E6%9C%89%E6%8D%9F%E5%8E%8B%E7%BC%A9" \t "https://baike.baidu.com/item/%E6%95%B0%E5%AD%97%E6%B0%B4%E5%8D%B0/_blank)编码处理等，仍然能提取有效地水印信息来证明图像的来源；鲁棒性就是衡量算法的稳定性、抗攻击能力的指标。所谓的攻击可以理解为修改图像的像素数据，而嵌入水印也是修改像素值，这样就会影响水印的提取；常见的非恶意攻击包括图像压缩、旋转、剪切、缩放(改变分辨率)、涂抹等，这些操作都会对改变图像的像素数据

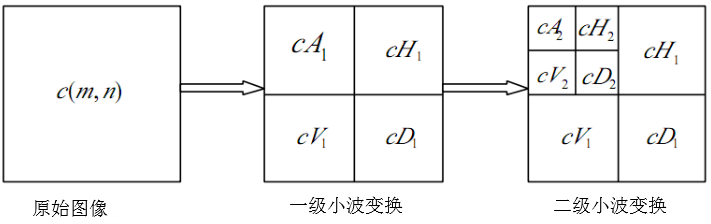
需要考虑的攻击类型：  
 (1)重编码：在图像的传输和存储中，为了提高传输效率和节约存储空间，都会先对图像进行压缩编码，像素数据编码成比特流，再按字节处理就可以方便快捷的传输和存储；在微信传输的JPG的图像就是经过JPEG压缩编码后的图像，JPEG编码属于有损压缩，即经过JPEG编码，再解码后得到的像素数据与原始未经过JPEG编码的像素数据是不一样的；即在编码、解码的过程中存在像素的数据的丢失。而水印的嵌入和提取都是在图像像素上进行操作，所以必须考虑编解码对水印提取带来的影响。

(2)图像缩放(分辨率变化)：在微信上以非原图的形式传输图像时，微信端会对图像进行缩放，缩放的规则是保持宽高比不变，将宽、高中较小的那个放大或缩小到1080，另一边同比例缩放。因为水印嵌入和提取都是在像素点上进行的，在全部像素中根据秘钥选择像素值进行嵌入和提取，图像缩放后，像素的总数发生改变，同一个秘钥可能选择不同的像素点，这样提取出来的水印就不是之前嵌入的水印；  
**5.2.3小波变换(DWT)**

水印的嵌入算法大致可以分为在空域嵌入和在频域嵌入；在空域嵌入就是直接对像素值进行修改，如最简单的奇偶量化和LSB最低有效位嵌入，后者以像素的二进制最低位映射水印的0,1值；但在空域嵌入的鲁棒性比较低，单个像素的值很容易受到其他因素的影响，导致提取的水印效果很差；而频域就是先将载体图像变换到频域，在频域系数上进行水印嵌入，频域变换可以减小相关性，增强鲁棒性。

为实现嵌入不可见水印，在尽量减小失真的情况下增强水印的鲁棒性，保证水印的提取，以达到图像溯源的效果；采用多级离散小波变换(DWT)，在低频分量上进行水印嵌入。小波变换对不同的频率在时域上的取样步长是可调节的，即在低频时小波变换的时间分辨率较低，而频率分辨率较高；在高频时小波变换的时间分辨率较高，而频率分辨率较低，这正符合低频信号变化缓慢而高频信号变化迅速的特点。

DWT因其更符合人眼视觉系统(HVS)特性，从而在数字水印中得到广泛应用。单通道的灰度图像经过1级DWT后可以分解为4个分量，分别是低频分量(cA)、水平中频子带(cH)、垂直中频子带(cV)和高频子带(cD)，多级分解在上级低频子带的基础上再次分解。DWT不同分量分布如图所示。



其中低频分量cA代表了原始图像的大部信息，是最接近原始图像的分量，考虑到图像传输、存储时，微信或其他平台会对图像作压缩、调整分辨率等处理，这些处理会影响的水印的提取；因此为了能完整无误的提取水印，选择在低频分量上嵌入水印。

为了解决如重编码、剪切、涂抹等攻击对水印提取造成的影响，该算法没有选择在单个的系数上进行水印嵌入，将小波变换后的系数矩阵分为4\*4的不重叠子块，并将相邻的两块作为一组；以4\*4子块的绝对均值的相对大小作为嵌入的依据；所谓的绝对均值是将4\*4子块的所有系数取绝对值后，再计算均值；这样可以避免符号因符号不同，导致对系数作很大的改动；这样对含水印图像对了某些处理后，即使单个的系数发生改变，但子块的均值不会发生太大的变换，否则对图像的影响太大，仅凭肉眼都可以看出变换；而且，同一的处理对子块的效果应该是一样的，即某个子块的均值变大了，与它相邻的子块均值也会变大，所以相邻两个子块的相对大小是比较稳定的，这样即使对图像作了修改，根据相邻子块的相对大小也能提取水印。

**5.2.4 扩频技术**

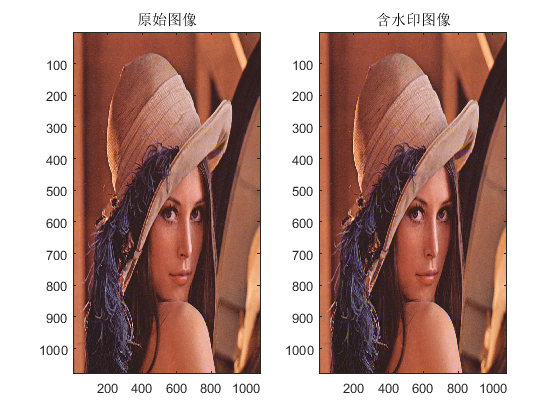
因为本设计嵌入的水印所占的字节数较小，如果直接嵌入水印数据，还有剩余的子块没有嵌入数据，为了能利用载体图像的全部系数，并且进一步增强水印的鲁棒性，采用扩频技术对水印预处理。

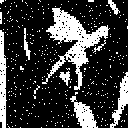
扩频技术的特点是传输信息所用的带宽远大于信息本身带宽时，扩频通信技术在发端以扩频编码进行扩频调制，在收端以相关解调技术收信息，这种技术的目的和作用是在传输信息之前，先对所传信号进行频谱的扩宽处理，以便利用宽频谱获得较强的抗干扰能力、较高的传输速率；在数字水印的实现就是根据载体图像可以嵌入的最大字节数(CB)和带嵌水印的字节数(WB)，计算扩频倍数，P=CB/WB;这样在嵌入前，先将水印的每个比特位重复P次，如原始水印为0110；二倍扩频后得到00111100，然后再将扩频后的水印嵌入到载体图像中。提取水印时，将提取得到的比特位按扩频的倍数进行解调，如上例，每两个比特位为一组，每组中哪个值多，该组就以哪个数为最终提取的水印；这样做的有点在于，对含水印图像进行攻击后，如果只有少数的值发送改变，依然可以恢复水印，要使提取的水印发送错误，就要让超过一半的值发生改变，就必须用更强的攻击手段才行。

**5.2.5 MATLAB仿真实验：**

为了快速验算法的效果(失真和提取)，先在MATLAB下仿真观察实验效果；再在Windows下借助OpenCV跨平台图像处理库实现C++程序的编写；最后将编译好的代码移植到Linux平台下编译运行；完成算法的设计和实现。

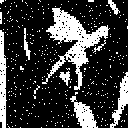
MATLAB下仿真结果：



(a)原始二值水印 (b)提取水印

由于图像压缩、旋转、剪切等原因对含水印的图像进行处理，提取的水印与原始水印存在一定误码率，为了减低误码率，对待嵌入水印进行扩频处理，即增加嵌入水印的长度，增强了容错能力；扩频后提取得到的水印如图；

(c)未扩频提取水印 (d)扩频后提取水印

直观上可以看出扩频后的效果明显比未扩频效果好；下面根据误码率来定量分析两者之间的差异；仿真共抽取了3副图像，分别标记为图A、B、C;

载体图像

指标

指标

|  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- |
|  | 未扩频误码率 | 扩频误码率 | 压缩未扩频误码率 | 压缩扩频误码率 |
| A | 2.771% | 0.085% | 5.444% | 0.476% |
| B | 3.479% | 0.164% | 7.941% | 0.769% |
| C | 5.194% | 0.726% | 9.979% | 2.533% |

未扩频误码率表示，未对原始水印做扩频处理，提取水印的误码率，压缩未扩频误码率表示，对含水印的载体图像作压缩处理后，从中提取水印的误码率；其他指标含有类似；